


**Device for optical alignment measurement between two variously rotatable shafts**

Patent Number: DE3619931  
Publication date: 1987-10-29  
Inventor(s): SCHUESSLER HANS-H DIPL-ING DR  
Applicant(s): DAIMLER BENZ AG  
Requested Patent:  DE3619931  
Application Number: DE19863619931 19860613  
Priority Number(s): DE19863619931 19860613  
IPC Classification: G01B11/275  
EC Classification: G01B11/27  
Equivalents:

**Abstract**

The invention relates to a device for optical alignment measurement between two rotatable shafts. Mounted on the end of one shaft is a measuring head which transmits coaxially with the rotation axis a primary beam in the form of a linearly polarised laser beam. Firmly mounted on the end of the other shaft, which is arranged at an axial spacing, is a roof-edge reflector whose ridge is perpendicular to the axis and extends through the rotation axis of this shaft. The secondary beam retroreflected by this roof-edge reflector is situated coaxially with the primary beam. A polarisation beam splitter can be used to separate the primary and secondary beams from one another. By determining the beam position in an area-resolving fashion, it is possible to determine a beam position signal which is relevant to the angle error and relevant to the error in alignment. When this measurement is repeated on a plurality of circumferential positions of the two shafts in conjunction with an identical mutual circumferential position, the alignment position can be determined with regard to parallelism and to coaxiality. Because of the central arrangement of the primary and secondary beams, the alignment measuring device is largely independent of aberration tolerances in the case of an identical position of the angle of rotation of the two shafts relative to one another. Thanks to determining the beam position with regard to parallelism in accordance with the autocollimation principle, the dependence of the alignment measurement on the axial spacing of the two shafts is also eliminated. In order not to suffer any light losses during beam splitting, ... Original abstract incomplete.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑪ DE 36 19931 C 1

⑤① Int. Cl. 4:  
G01B 11/275

②① Aktenzeichen: P 36 19931.1-52  
②② Anmeldetag: 13. 6. 86  
②③ Offenlegungstag: —  
②④ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 29. 10. 87

Behördeneigentum

DE 36 19931 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
Daimler-Benz AG, 7000 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:  
Schöbler, Hans-H. Dipl.-Ing. Dr., 7054 Korb, DE

⑥⑤ Im Prüfungsverfahren entgegengehaltene  
Druckschriften nach § 44 PatG:

DE-OS 32 18 903  
WO 84/04960;

⑤④ Einrichtung zur optischen Fluchtungsmessung zwischen zwei verschiedenen verdrehbaren Wellen

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur optischen Fluchtungsmessung zwischen zwei verdrehbaren Wellen. Am Ende der einen Welle ist ein Maßkopf angebracht, der gleichachsig zur Rotationsachse einen Primärstrahl als linear polarisierten Laserstrahl aussendet. Am Ende der in axialem Abstand angeordneten anderen Welle ist ein Dachkantreflektor fest angebracht, dessen Firstlinie achsenkrecht steht und durch die Rotationsachse dieser Welle verläuft. Der von diesem Dachkantreflektor zurückgeworfene Sekundärstrahl liegt koaxial zum Primärstrahl. Über einen Polarisationsstrahlteiler sind Primär- und Sekundärstrahl voneinander trennbar. Über eine flächenhaft auflösende Strahlagermittlung kann ein winkelfehlerrelevantes und ein versatzfehlerrelevantes Strahlagesignal ermittelt werden. Bei einer Wiederholung dieser Messung an mehreren Umfangslagen der beiden Wellen bei identischer gegenseitiger Umfangslage kann die Fluchtungslage hinsichtlich Parallelität und Koaxialität ermittelt werden. Aufgrund der zentrischen Anordnung von Primär- und Sekundärstrahl ist die Fluchtungsmesseinrichtung von Fehlertoleranzen bei der übereinstimmenden Drehwinkelstellung der beiden Wellen zueinander weitgehend unabhängig. Dank der Ermittlung der Strahlage hinsichtlich der Parallelität nach dem Autokollimationsprinzip wird auch eine Abhängigkeit der Fluchtungsmessung vom Axialabstand der beiden Wellen beseitigt. Um keine Lichtverluste bei der Strahlteilung zu erleiden, wird ...

DE 36 19931 C 1

BUNDESDRUCKEREI 09. 87 708 144/369

70

BNSDOCID: <DE\_\_\_\_\_3619931C1\_1\_>

## Patentansprüche

1. Einrichtung zur optischen Fluchtungsmessung zwischen zwei verschiedenen, zumindest annähernd fluchtenden, verdrehbaren Wellen, mit am Ende der — ersten — Welle fest angebrachtem, mit ihr mitverdrehbarem, ein Parallelstrahlenbündel — Primärstrahl — parallel zur Rotationsachse aussendenden, vorzugsweise als Laserkopf ausgebildeten Strahlprojektor, der in fester Zuordnung einen Strahlagesensor für einen zurücklaufenden Strahl — Sekundärstrahl — trägt, ferner mit einem am Ende der anderen — zweiten — Welle fest angebrachten Dachkantreflektor, der das Parallelstrahlenbündel annähernd parallel zu sich selber in den Strahlagesensor zurückwirft, wobei die beiden Wellen zumindest während einer Meßwertaufnahme untereinander angenähert gleiche Umfangsposition wie bei vorausgegangenen Meßwertaufnahmen aufweisen, gekennzeichnet durch die Kombination folgender Merkmale:

- a) das Parallelstrahlenbündel ist zumindest hinsichtlich eines achsparallel verlaufenden Antelles der Strahlaufstrecke koaxial zur Rotationsachse (24) der ersten Welle (1) angeordnet;
- b) der Dachkantreflektor (9) ist mit der Firstlinie (10) im Zentrum des Primärstrahles (4) angeordnet, derart, daß der Sekundärstrahl (5) gleichachsig zum Primärstrahl (4) liegt;
- c) im achsnahen Bereich ist ein Strahlteiler (11) mit einer zur Rotationsachse (24) geneigt angeordneten teilreflektierenden Fläche (13) in fester Zuordnung zur ersten Welle (1) angebracht, der Primär- und Sekundärstrahl (4 bzw. 5) voneinander trennt;
- d) im Sekundärstrahl (5) ist in Brennpunktentfernung (f) vor der lichtempfindlichen Ebene des Strahlagesensors (6, 7) eine als Zylinderlinse ausgebildete Autokollimationslinse (14) bzw. ein entsprechendes Linsensystem angebracht, deren Zylindermantellinien (15) quer zur Firstlinie (10) des Dachkantreflektors (9) angeordnet sind bzw. — im Falle eines geknickten Strahlverlaufes — bei Blickrichtung seitens des Dachkantreflektors (9) zu dessen Firstlinie (10) querstehend erscheinen.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlprojektor (3) als ein linear polarisierter Laserstrahl aussendender Laserkopf und der Strahlteiler (11) als ein mit seiner Sperr- bzw. Durchlaßrichtung auf die Polarisationssebene (16) des Laserstrahles ausgerichteter Polarisationsstrahlteiler ausgebildet ist und daß zwischen Polarisationsstrahlteiler (11) und Dachkantreflektor (9) eine Polarisationswandlerplatte (19) im Strahlengang angeordnet ist.

3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß im Sekundärstrahl (5) im Strahlengang hinter dem genannten — ersten — Strahlteiler (11) ein zweiter Strahlteiler (12) angeordnet ist, der den Sekundärstrahl (5) in einen zur ersten Welle (1) koaxialen und in einen radial dazu stehenden Strahlanteil aufteilt, wobei einem der beiden Strahlanteile — winkelfehlerrelevanter Strahlanteil (17) — die Autokollimationslinse (14)

zugeordnet und wobei ferner sowohl in diesem (17) — dort in Brennpunktentfernung (f) von der Autokollimationslinse (14) — als auch im anderen — versatzfehlerrelevanten — Strahlanteil (18) jeweils ein als lineares Photodiodenarray ausgebildeter Strahlagesensor (7 bzw. 8) angeordnet ist, wobei das dem winkelfehlerrelevanten Strahlanteil (17) zugeordnete lineare Photodiodenarray (7) — ggf. unter Beachtung der Reflexionsgesetze — parallel und das dem versatzfehlerrelevanten Strahlanteil (18) zugeordnete Photodiodenarray (8) quer zur Firstlinie (10) des Dachkantreflektors (9) angeordnet ist.

4. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der winkelfehlerrelevante Strahlanteil (17) radial zur Rotationsachse (24) der ersten Welle (1) angeordnet ist.

5. Einrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß im Strahlengang (17, 18) vor jedem der linearen Photodiodenarrays (7, 8) jeweils eine kurzbreitweitige Zylinderlinse (22) mit parallel zum Photodiodenarray (7, 8) verlaufenden Zylinderantellinien etwa in Brennpunktentfernung angeordnet ist.

6. Einrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Autokollimationslinse anstatt als Zylinderlinse (14) als rotations-symmetrische Linse (14') ausgebildet ist.

7. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlengang zwischen Strahlprojektor (3) und erstem Strahlteiler (11) mittels Reflektoren (23) derart gefaltet ist, daß der Strahlprojektor (3) raumsparend neben der Rotationsachse (24) der ersten Welle (1) unterbringbar ist.

8. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlengang zwischen der Autokollimationslinse (14, 14') und dem — zugehörigen — Strahlagesensor (6, 7) mittels Reflektoren raumsparend gefaltet ist.

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur optischen Fluchtungsmessung zwischen zwei verschiedenen verdrehbaren Wellen nach dem Oberbegriff von Anspruch 1, wie sie beispielsweise aus der offengelegten internationalen Patentanmeldung WO 84/04 960 als bekannt hervorgeht. Bei der bekannten Fluchtungsmeßeinrichtung liegt der Primärstrahl stark exzentrisch zur Rotationsachse der beiden Wellen; außerdem ist der Sekundärstrahl zum Primärstrahl versetzt. Diese Anordnung führt zwar zu einem relativ einfachen Aufbau des Meßkopfes und auch zu einer einfachen Anbringung der für die Fluchtungsmessung erforderlichen Komponenten an die beiden zu überprüfenden Wellen. Durch die exzentrische Strahlanordnung und durch den gegenseitigen Seitenversatz von Primär- und Sekundärstrahl wird jedoch eine sehr starke Empfindlichkeit der Meßeinrichtung gegen relative Drehwinkelveränderungen der ersten Welle gegenüber der zweiten Welle bewirkt, die erfordert, daß während der Fluchtungsmessung die beiden auf Fluchtung zu überprüfenden Wellen verdrehstarr miteinander mechanisch gekuppelt sein müssen, wobei ein Verdrehspiel allenfalls im Winkelsekundenbereich zulässig sein darf, um die mit der bekannten Meßeinrichtung mögliche Meßgenauigkeit auch wirklich erreichen zu können. Ein weiterer Nachteil der bekannten

Meßeinrichtung liegt darin, daß der gegenseitige Axialabstand des an der ersten Welle angebrachten Meßkopfes von dem an der zweiten Welle angebrachten Dachkantreflektor mit in die Messung eingeht. Dieser Axialabstand muß mit den winkelfehlerrelevanten Strahlagesignalen des Sekundärstrahles verrechnet werden, um zu Aussagen über den Winkelfehler bei der Wellenfluchtung zu kommen. Allerdings genügt es, wenn der erwähnte Axialabstand der beiden Meßkomponenten mit einer relativ geringen Genauigkeit, beispielsweise mit "Zollstockgenauigkeit" bekannt ist.

Zwar wäre es denkbar, die bekannte Meßeinrichtung auch ohne gegenseitige mechanische Verkopplung der beiden auf Fluchtung zu überprüfenden Wellen einzusetzen, was jedoch an beiden einzelnen Wellen sehr aufwendige Drehwinkelmeßeinrichtungen voraussetzen würde, mit denen sichergestellt werden könnte, daß beide Wellen bei der gegenseitigen Vermessung in einer neuen Umfangslage auch wirklich die identische gegenseitige Umfangslage im Winkelsekundenbereich eingenommen haben. Abgesehen von den sehr hohen Kosten derartiger hochgenau auflösenden Winkelmeßeinrichtungen ist auch der Zeitaufwand für solche Winkelmessungen nachteilig.

Häufig sind Wellen auf Fluchtung zu überprüfen, deren Enden einen sehr großen gegenseitigen Axialabstand aufweisen, weil eine oder mehrere andere Menschen zwischen die beiden Wellenenden eingebaut werden sollen. Beispielsweise bei gegenseitigen Axialabständen von mehreren Metern, beispielsweise von 5 bis 10 Metern, ist es nur mit sehr großem Aufwand möglich, die beiden Wellen in Umfangsrichtung spielfrei mechanisch miteinander zu verkuppeln. Auch ist es in solchen Fällen relativ umständlich, den Axialabstand der an der Fluchtungsmessung beteiligten und den beiden Wellen jeweils zugeordneten Meßkomponenten im Millimeterbereich genau zu bestimmen, insbesondere dann, wenn eine der beiden Wellen ein größeres Axialspiel hat.

Aufgabe der Erfindung ist es, die gattungsmäßig zugrundegelegte optische Fluchtungsmesseinrichtung dahingehend auszugestalten, daß sie weitgehend unempfindlich gegen relative Drehwinkelfehler der beiden auf Fluchtung zu überprüfenden Wellen ist und daß auch der gegenseitige Axialabstand der beiden Wellen für die Messung nicht bekannt zu sein braucht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale von Anspruch 1 gelöst. Dank der konzentrischen Anordnung des Primärstrahles in der Rotationsachse und der gegenseitigen Koaxiallage von Primär- und Sekundärstrahl ist die gegenseitige Drehwinkelage der ersten und zweiten Welle bei der Meßwertaufnahme relativ unkritisch; Drehwinkelfehler im Bereich von  $\pm 1$  bis 2 Grad können ohne Beeinträchtigung der Meßgenauigkeit der Einrichtung zugelassen werden. Auch ohne gegenseitige mechanische Kupplung können mit einfachen Meßtechnischen Mitteln die beiden Wellen mit der erforderlichen Winkelgenauigkeit in die jeweils neue Position verdreht werden. Dank der Anwendung des an sich bekannten Autokollimationsprinzips bei der Ermittlung der winkelfehlerrelevanten Strahlage des Sekundärstrahles braucht auch der Axialabstand der beiden Wellen zugeordneten Meßgerätekomponenten nicht bekannt zu sein; insofern ist die Strahlage auf der Photodiode unmittelbar proportional zum gesuchten Winkelfehler.

Das erwähnte und für die vorliegende Erfindung angewandte Autokollimationsprinzip ist seit langem bekannt; die DE-OS 32 18 903 zeigt beispielsweise eine

Nutzanwendung dieses Prinzips für die sehr genaue Bestimmung der Winkellage eines Objektes, dessen Entfernung unbekannt bzw. irrelevant ist. Bei der bekannten Meßanordnung ist ein Objektiv in Brennpunktentfernung von einer Schlitzeblende angeordnet, die von der Rückseite her hell beleuchtet ist. Die Schlitzeblende ist innerhalb der Ebene der Schlitzeblende quer zur Richtung des Schlitzes verschiebbar. Das seitens des Schlitzes ausgesandte Licht wird durch das Objektiv hindurch auf einen annähernd in der Strahlachse des Objektivs befindlichen Planspiegel gelenkt, der mit einem Bauteil befestigt ist, dessen Winkellage in Bezug auf die Achse des Objektivs ermittelt werden soll. Der annähernd quer zur Strahlachse stehende Planspiegel reflektiert das Licht unter Berücksichtigung des Reflexionsgesetzes wieder in Richtung zum Objektiv zurück, wobei zumindest ein Teil des ausgesandten Lichtes auch in die Öffnung des Objektivs wieder zurückgelangt; nur unter dieser Voraussetzung funktioniert überhaupt das Autokollimationsprinzip. Nachdem das seitens des Objektivs in Richtung zum Planspiegel ausgesandte Licht ein Parallelstrahlbündel ist, ist auch das reflektierte Licht parallel. Dieses entsprechend der Schräglage des Spiegels mit dem doppelten Winkel geneigt zur Richtung des ausgesandten Lichtes zurückkehrende Licht wird wiederum auf der Brennpunktebene, also auf der Ebene der Schlitzeblende fokussiert, wobei der Fokus unabhängig von der Lauflänge des Strahles proportional zu dem Winkel des zurückkehrenden Lichtes gegenüber der Objektivachse seitenversetzt ist. Es wird also das Bild des Lichtschlitzes auf der Vorderseite der Schlitzeblende abgebildet. Durch Einfahren des Lichtschlitzes in die Position der Abbildung des Schlitzes kann dessen Seitenversatz gegenüber der Objektivachse ermittelt werden. Es fällt dann nämlich das zurückkehrende Licht durch den Schlitz hindurch, wobei das hindurchtretende zurückkehrende Licht seitlich ausgespiegelt und dedektiert werden kann.

Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung können den Unteransprüchen entnommen werden. Im übrigen ist die Erfindung anhand verschiedener in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiele nachfolgend noch erläutert; dabei zeigt

Fig. 1 eine perspektivische, schematische Darstellung einer Fluchtungsmesseinrichtung nach der Erfindung.

Fig. 2 eine axiale Ansicht auf die zweite Welle entsprechend den Blickrichtungspfeilen II-II,

Fig. 3 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Fluchtungsmesseinrichtung in perspektivischer Darstellung,

Fig. 4 und 5 zwei weitere Ausführungsbeispiele von Fluchtungsmesseinrichtungen, bei denen der Sekundärstrahl noch einmal aufgeteilt ist in einen versatzfehlerrelevanten und in einen winkelfehlerrelevanten Strahlenteil.

In verschiedenen Figuren sind eine erste Welle 1 und eine zweite Welle 2 dargestellt, die um die Rotationsachse 24 bzw. 25 verdrehbar sind; die beiden Rotationsachsen 24 und 25 fluchten in der Regel nur annähernd miteinander und weisen Winkel- und/oder Versatzfehler im Bereich weniger Winkelminuten bzw. kleiner Millimeter-Bruchteile auf. Zur Fluchtungsmessung ist der ersten Welle 1 ein in einem Meßkopfgehäuse 21 untergebrachter Meßkopf an der Welle feststehend zugeordnet, der mit ihr gemeinsam verdrehbar ist. Der Meßkopf enthält einen Strahlprojektor 3, der bei den dargestellten Ausführungsbeispielen als Laserkopf ausgebildet ist und der ein Parallelstrahlbündel als Primärstrahl 4 aussendet. Der Strahl ist linear polarisiert; die Richtung

seiner Polarisationssebene ist mit dem Pfeil 16 charakterisiert. Ein wesentliches Charakteristikum der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß der Primärstrahl koaxial zur Rotationsachse 24 der ersten Welle 1 eingespiegelt wird. Um gleichwohl dem Strahlprojektor 3 außerhalb der Rotationsachse und raumsparend innerhalb des Meßkopfgehäuses unterbringen zu können, wird der ausgesandte Primärstrahl zunächst über Reflektoren 23 gefaltet und über einen ersten Strahlteiler 11 gleichachsig zur Rotationsachse 24 eingespiegelt. Der vom Meßkopfgehäuse 21 ausgehende Primärstrahl 4 liegt also nicht nur parallel sondern koaxial zur Rotationsachse 24 und ist auf die gegenüberliegende zweite Welle 2 ausgerichtet. Der Primärstrahl 4 ist gewissermaßen die optische Verlängerung der Rotationsachse 24 der ersten Welle 1. Das Meßkopfgehäuse 21 muß vor Beginn der Fluchtungsmessung so ausgerichtet werden, daß beim Verdrehen der ersten Welle 1 der Primärstrahl 4 fast keinen Parallelversatz oder Taumelfehler zeigt.

An dem gegenüberliegenden Ende der zweiten Welle 2 ist ein Dachkantreflektor 9 festhaltend angebracht, so daß er mit der zweiten Welle 2 umläuft. Der Dachkantreflektor ist zentrisch an der zweiten Welle angebracht, derart, daß seine Firstlinie 10 durch die Rotationsachse 25 der zweiten Welle 2 verläuft. Die Genauigkeitsanforderungen im Hinblick auf die Ausrichtung des Dachkantreflektors 9 in dieser Hinsicht sind weniger kritisch; entscheidend ist, daß der Dachkantreflektor so an der zweiten Welle ausgerichtet wird, daß der von ihm reflektierte Sekundärstrahl 5 zumindest in einer bestimmten Umfangslage der beiden Wellen 1 und 2 gleichachsig zum Primärstrahl 4 liegt und in die Austrittsöffnung des Primärstrahles 4 am Meßkopfgehäuse wieder zurücktrifft. Was die umfangsmäßige Ausrichtung des Dachkantreflektors 9 bzw. der Firstlinie 10 in Bezug auf die zweite Welle 2 anlangt, so wird auf ein diesbezügliches Erfordernis weiter unten eingegangen. In diesem Zusammenhang sei lediglich erwähnt, daß aufgrund der gegenseitigen orthogonalen Stellung der reflektierenden Flächen des Dachkantreflektors dieser die Eigenschaften eines Planspiegels und eines Tripelreflektors in sich vereinigt. Bezüglich Verschwenkungen des Dachkantreflektors 9 um die Firstnormale 20 entsprechend der eine Taumbewegung des Wellenflansches charakterisierenden Pfeile 27 verhält sich der Dachkantreflektor 9 wie ein Planspiegel; d. h. bezüglich Verschwenkungen um die Firstnormale 20 wird der Sekundärstrahl 5 um den doppelten Taumelwinkel relativ zum Primärstrahl 4 zurückreflektiert. Eine Verschwenkung des Dachkantreflektors um die Firstlinie bleibt jedoch völlig ohne Einfluß auf die Strahlrichtung des Sekundärstrahles; insofern verhält sich der Dachkantreflektor invariant wie ein Tripelreflektor. Dafür hat der Dachkantreflektor die weitere besondere Eigenschaft, ähnlich wie auch ein Tripelreflektor, nämlich bei Parallelversatz in Richtung zur Firstnormale 20, nämlich in Pfeilrichtung 28, den Sekundärstrahl 5 zwar parallel aber um den doppelten Versatzbetrag des Spiegels gegenüber dem Primärstrahl seitenversetzt zurückzereflektieren. Der Dachkantreflektor 9 ist also sowohl für Taumbewegungen als auch für Versatzbewegungen, jedoch beschränkt auf Taumbewegungen um die Firstnormale bzw. Versatzbewegungen in Richtung der Firstnormale, empfindlich.

Der vom Meßkopf an der ersten Welle 1 ausgesandte Primärstrahl 4 wird darin — wie gesagt — durch einen Strahlteiler 11 koaxial zur Rotationsachse 24 in die Meßstrecke eingespiegelt, um durch diese Strahlteilung

keine Intensitätsverluste im Primär- und im Sekundärstrahl beim Durchtritt der Strahlen durch den Strahlteiler zu bekommen, wird zum einen — wie bereits erwähnt — linear polarisiertes Licht verwendet; zum weiteren ist der Strahlteiler 11 als Polarisationsstrahlteiler ausgebildet, dessen teilreflektierende Fläche 13 je nach Lage der Polarisationssebene 16 vollreflektierend oder volldurchlässig ist. Der polarisationsabhängige Strahlteiler 11 ist mit seiner Sperr- bzw. Durchlaßrichtung auf die Richtung der Polarisationssebene des Primärstrahles 4 derart ausgerichtet, daß er den seitlich ankommenden Primärstrahl 4 über die teilreflektierende Fläche 13 in die Meßstrecke ablenkt. An der Austrittsstelle des Primärstrahles in die Meßstrecke ist eine Polarisationswandlerplatte 19 — auch  $\lambda/4$ -Platte genannt — angebracht, die die Eigenschaft hat, nach einem zweimaligen Durchtritt eines linear polarisierten Lichtstrahles dessen Polarisationssebene um  $90^\circ$  zu verschwenken. Der in die Meßstrecke eintretende Lichtstrahl tritt zum ersten mal durch die Polarisationswandlerplatte 19 hindurch und der zurückkehrende Sekundärstrahl zum zweiten mal. Dadurch ist dessen Polarisationssebene nach Durchtritt durch die Polarisationswandlerplatte so verschwenkt, daß die teilreflektierende Fläche 13 nun durchlässig für den Lichtstrahl ist, und er geradlinig durch den Strahlteiler 11 hindurch verläuft. Auf diese Weise werden an der teilreflektierenden Fläche 13 keine für die Messung verlustig gehenden Anteile am Meßlicht abgeteilt; vielmehr steht nahezu das gesamte am Strahlprojektor 3 austretende Licht auch im Sekundärstrahl 5 wieder zur Verfügung.

Zur Fluchtungsmessung wird nun eine Lagebestimmung des Sekundärstrahles in Relation zum Primärstrahl bei mehreren unterschiedlichen Umfangsstellungen der beiden Wellen, wobei diese jedoch relativ zueinander identische Umfangsstellung haben, durchgeführt, und zwar muß eine solche Strahlagebestimmung bei mindestens drei verschiedenen Umfangsstellungen der beiden Wellen 1 und 2, vorzugsweise bei vier verschiedenen Stellungen durchgeführt werden. Nach bekannten Umrechnungsformeln kann aus den unterschiedlichen Strahlagen bei den verschiedenen Meßstellungen die Relativlage der beiden Rotationsachsen 24 und 25 nach Parallelität und Koaxialität ermittelt werden. In diesem Zusammenhang sei zunächst auf das insoweit einfachere Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 eingegangen. Dort ist konzentrisch zur Rotationsachse 24 der ersten Welle 1 ein Strahlagesensor 6 angebracht, der in Form einer Vierquadranten-Photodiode ausgebildet ist. Bei der Messung der Strahlage muß die umfangsmäßige Relativlage dieser vier Quadranten zur Firstlinie 10 des gegenüberliegenden Dachkantreflektors 9 bekannt sein; vorzugsweise wird man die gegenseitige Lage so wählen, daß die Firstlinie 10 zu einer Symmetrielinie der Vierquadranten-Photodiode parallel liegt. Jeder einzelne Quadrant der Vierquadranten-Photodiode 6 ist mit einem eigenen Meßanschluß versehen und zu einer zeichnerisch nicht dargestellten Auswerteeinheit geführt. Aus der Intensität der Lichtbeaufschlagung der einzelnen Quadranten kann die Relativlage des einfallenden Sekundärstrahles 5 in Relation zum Zentrum der Vierquadranten-Photodiode und in Relation zu deren Symmetrielinien bestimmt werden. Aufgrund eines Versatzfehlers in Richtung der Firstnormalen wird der Sekundärstrahl doppelt seitenversetzt zur Firstlinie zurückreflektiert werden. Ein entsprechender Seitenversatz kann durch bekannte Summen- und Differenzbildung der Signale von den einzelnen Quadranten ermit-

teilt werden.

Zur Ermittlung eines Winkelfehlers entsprechend eines Taumelwinkels um die Firstnormale herum wird der Sekundärstrahl um den doppelten Winkel eines solchen Taumelwinkels zurückreflektiert. Im Strahlengang des Sekundärstrahles vor der Vierquadranten-Photodiode ist in Brennpunktentfernung /eine Autokollimationslinse 14 angebracht, die bei dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel, bei welchem der Sekundärstrahl 5 nicht im Hinblick auf Winkelfehler und auf Versatzfehler aufgeteilt ist, als Zylinderlinse ausgebildet sein muß. Und zwar liegen die Zylindermantellinien 15 parallel zur Firstnormalen bzw. quer zur Firstlinie 10. Anstelle einer Einzellinse ist selbstverständlich auch ein entsprechendes Linsensystem denkbar, wobei jedoch dieses auch von seiner Funktion her sich wie eine Zylinderlinse verhalten muß. Aufgrund der Ausbildung der Autokollimationslinse als Zylinderlinse und aufgrund der entsprechenden Lage der Zylindermantellinien parallel zur Firstnormalen verhält sich die Autokollimationslinse gegenüber in Richtung der Zylindermantellinien seitenversetzt zurückreflektieren Sekundärstrahlen neutral wie eine planparallele Platte; lediglich gegenüber in Richtung der Firstlinie 10 abgewinkelten oder seitenversetzten Sekundärstrahlen wird die lichtbrechende Eigenschaft der Linse wirksam. Aufgrund der Anordnung der Autokollimationslinse 14 in Brennpunktentfernung von der Vierquadranten-Photodiode wird nun der vertikal abgewinkelte Sekundärstrahl durch die Autokollimationslinse so in Richtung zum Zentrum der Vierquadranten-Photodiode zurückgebrochen, daß der Abstand des vom Sekundärstrahl auf der Vierquadranten-Photodiode 6 erzeugte Lichtfleck vom Diodenzentrum ausschließlich noch dem doppelten Ablenkungswinkel, nicht jedoch der Entfernung zwischen Autokollimationslinse und Dachkantreflektor 9 entspricht. Der Axialabstand der beiden Wellen 1 und 2 ist also für die Winkelfehlermessung belanglos. Die Autokollimationslinse muß — wie gesagt — bei diesem Ausführungsbeispiel als Zylinderlinse ausgebildet sein, um dadurch die in der Sekundärstrahlage gemeinsam enthaltenen Signale bezüglich Versatzfehler und Winkelfehler trennen zu können. Zweckmäßigerweise wird man die in Fig. 3 dargestellte Fluchtungsmeßeinrichtung noch ergänzen durch eine Messung der Gesamtintensität des Sekundärstrahles 5 innerhalb des Meßkopfes. Dieses Gesamtintensitätssignal des Sekundärstrahles erlaubt es, Intensitätsschwankungen des Meßlichtes aus den Signalen der Vierquadranten-Photodiode herauszurechnen. Insbesondere bei längeren Meßstrecken können während der Messung durchaus Intensitätsschwankungen im Sekundärlicht auftauchen, die unter Umständen ohne eine solche rechnerische Kompensation der Intensitätsschwankungen eine Strahlageveränderung vortäuschen könnten. Insgesamt haftet jedoch dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 der Nachteil an, daß die Strahlage des Sekundärstrahles über Intensitätssignale erfolgt, die vor allen Dingen bei längeren Meßstrecken gering sind, wodurch die Meßgenauigkeit zurückgeht.

Um von Intensitätsschwankungen und Intensitätsverlusten insbesondere bei längeren Meßstrecken unabhängig zu sein, ist beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 ein anderer, wenn auch etwa aufwendigerer Weg zur Strahlagermittlung des Sekundärstrahles 5 beschritten. Und zwar wird dort durch einen zweiten als Intensitätsstrahler ausgebildeten Strahlteiler 12 der Sekundärstrahl in einen winkelfehlerrelevanten Strahlanteil 17 und in einen versatzfehlerrelevanten Strahlanteil 18 auf-

geteilt, von denen wahlweise einer gleichachsig zum Sekundärstrahl und der andere achsenrecht zu ihm d. h. radial im Bezug auf die Rotationsachse 24 steht. Bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel liegt der versatzfehlerrelevante Strahlanteil 18 gleichachsig zum Sekundärstrahl und etwa gleichachsig zur Rotationsachse 24, während der winkelfehlerrelevante Strahlanteil 17 radial dazu angeordnet ist. Die Umfangslage des radial angeordneten Strahlanteiles ist für die grundsätzliche Wirkungsweise der Meßeinrichtung irrelevant, solange sie nur bekannt ist. Zweckmäßigerweise wird man jedoch die Umfangslage des radial stehenden Sekundärstrahlanteiles — wie dargestellt — so wählen, daß er parallel zur Firstnormalen des Dachkantreflektors 9 liegt. Dank der Trennung des Sekundärstrahles in zwei verschiedene Anteile, von denen einer den Parallelversatz und der andere den Winkelfehler enthält, genügt es, die Strahlage mit relativ einfachen Strahlagesensoren zu ermitteln. Und zwar sind bei dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 lineare Photodiodenarrays 7 bzw. 8 vorgesehen, die parallel zur Firstlinie 10 bzw. zur Firstnormalen 20 angeordnet sind; was die Querausrichtung bzw. Parallelausrichtung anlangt, so sind allerdings die Reflexionsgesetze anzuwenden. Das winkelfehlerrelevante Photodiodenarray 7 ist parallel zur Firstlinie 10 und das versatzfehlerrelevante Photodiodenarray ist parallel zur Firstnormalen 20 ausgerichtet. In dem winkelfehlerrelevanten Strahlanteil 17 ist wiederum eine Autokollimationslinse 14' angeordnet, wobei der gegenseitige Abstand zwischen Autokollimationslinse 14' und dem zugehörigen linearen Photodiodenarray 7 der Brennpunktentfernung der Autokollimationslinse 14' entspricht. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist die Autokollimationslinse jedoch rotationssymmetrisch ausgebildet, was den Vorteil hat, daß, soweit der Sekundärstrahl in diesem quer abgelenkten Strahlanteil 17 auch noch gegenüber der Mittenlage horizontal seitenversetzt ist, dieser Strahlanteil durch die Wirkung der rotationssymmetrisch ausgebildeten Autokollimationslinse auf die vertikal stehende Diodenzeile zurückreflektiert wird, weil der horizontal seitenversetzte Sekundärstrahl parallel zu Linsenachse verläuft. Eine winkelmäßige Vertikalablenkung des Sekundärstrahles wird durch das Photodiodenarray 7 unmittelbar durch eine Anregung der lagemäßig entsprechenden Einzeldiode angezeigt. Dieses Signal ist ein reines Lagesignal, welches völlig unabhängig von Intensitätsschwankungen des Sekundärlichtes ist, solange überhaupt die Einzeldioden genügend angeregt werden, was in aller Regel unterstellt werden kann. In ähnlicher Weise wird auch in dem anderen, versatzfehlerrelevanten Strahlanteil 18 die Strahlage durch das lineare Photodiodenarray 8 ermittelt, wobei zum vertikalen Einfangen des Sekundärstrahlanteiles dem Photodiodenarray 8 noch eine kurzbrennweitige als Zylinderlinse ausgebildete Sammellinse vorgeschaltet ist, deren Zylindermantellinien parallel zum Photodiodenarray ausgerichtet sind. Diese Zylindersammellinse ist jedoch im Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 zeichnerisch nicht mit dargestellt.

In den Ausführungsbeispielen nach Fig. 4 und 5 sind Abwandlungsformen des Ausführungsbeispiels nach Fig. 1 dargestellt, auf die nachfolgend nur noch kurz eingegangen werden soll, um die mögliche Variantenvielfalt anzudeuten. Nachfolgend werden nur noch die Unterschiede zum Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 geschildert; im übrigen kann auf die voraufgegangene Beschreibung verwiesen werden.

Beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 4 liegt der Strahl-

projektor 3 mit seiner Achse parallel zur Rotationsachse 24 und es braucht demgemäß lediglich ein Umlenkspiegel 23 vorgesehen zu werden, um den Primärstrahl 4 über den ersten Strahlteiler 11 koaxial zur Rotationsachse 24 einzuspiegeln. Bei der auch hier vorgenommenen Aufteilung des Sekundärstrahles in einen winkel- 5 und in einen versatzfehlerrelevanten Strahlanteil 17 bzw. 18 ist jedoch der winkelfehlerrelevante Strahlanteil 17 gleichachsig zur Rotationsachse 24 und der versatzfehlerrelevante Strahlanteil 18 radial dazu angeordnet. In diesem Ausführungsbeispiel ist auch die parallel zum linearen Photodiodenarray 8 angeordnete Zylindersammellinse 22 in dem versatzfehlerrelevanten Strahlanteil 18 erkennbar, die kurzbrennweitig ausgebildet ist und etwa in Brennpunktentfernung vor dem linearen Photo- 15 diodenarray und parallel zu ihm angebracht ist. Sie hat die Aufgabe, die vertikal abgelenkte winkelfehlerbedingte Strahlage auf die Diodenzelle zurückzuberechnen. Beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 5 ist der Primärstrahl vor Eintritt in den ersten Strahlteiler 11 bereits 20 gleichachsig zur Rotationsachse 24 angeordnet; gleichwohl ist der Primärstrahl in dem davorliegenden Anteil über einen Umlenkspiegel 23 abgewinkelt, damit der Meßkopf in Richtung der Meßstrecke möglichst kurz baut und der Strahlprojektor 3 quer zur Rotationsachse 25 im Meßkopf eingebaut werden kann. Aufgrund des geradlinigen Durchtritts des Primärstrahles 4 durch den ersten Strahlteiler 11 hindurch ist es erforderlich, den aus der Meßstrecke zurückkehrenden Sekundärstrahl an der teilreflektierenden Fläche 13 dieses Strahlteilers 30 quer abzuwinkeln. Dieser radial stehende Sekundärstrahl wird wiederum in bekannter Weise aufgeteilt in einen winkelfehlerrelevanten Strahlanteil 17 und in einen versatzfehlerrelevanten Strahlanteil 18. Damit der Meßkopf in Richtung der Rotationsachsen und in Richtung der Meßstrecke möglich kurz baut, ist der die Autokollimationslinse 14' und ihre Brennweite  $f$  enthaltende winkelfehlerrelevante Strahlanteil 17 radialstehend 35 angeordnet; mit Rücksicht auf eine möglichst hohe Winkelauflösung werden nämlich langbrennweitige Autokollimationslinsen mit Brennweiten im Bereich von 30 bis 50 cm angestrebt. Zweckmäßigerweise kann der Strahlengang zwischen Autokollimationslinse und zugehörigem Photodiodenarray 7 raumsparend über entsprechende Umlenkspiegel abgelenkt sein, damit der 45 Meßkopf auch in Radialrichtung nicht übermäßig groß wird.

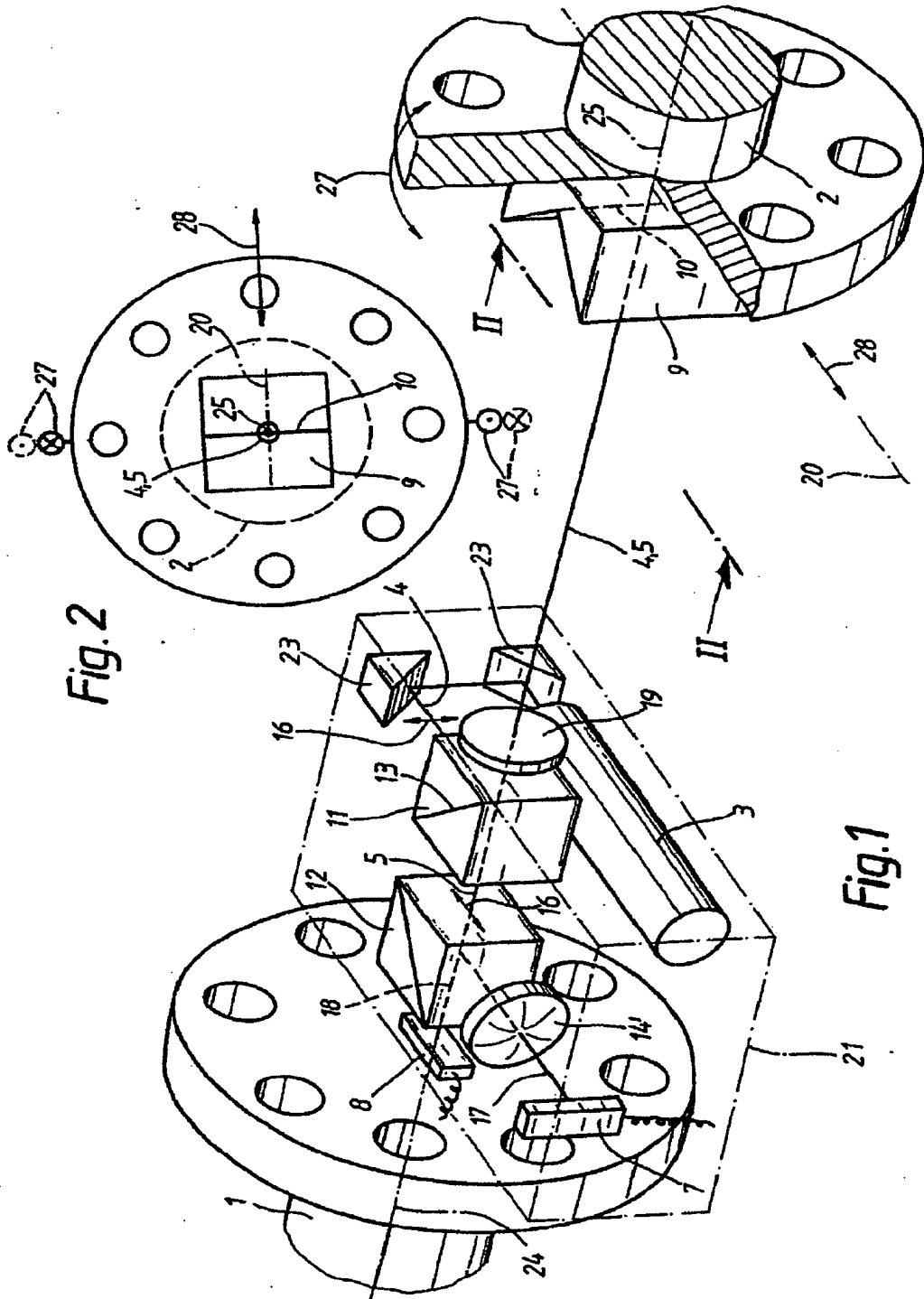
Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

50

55

60

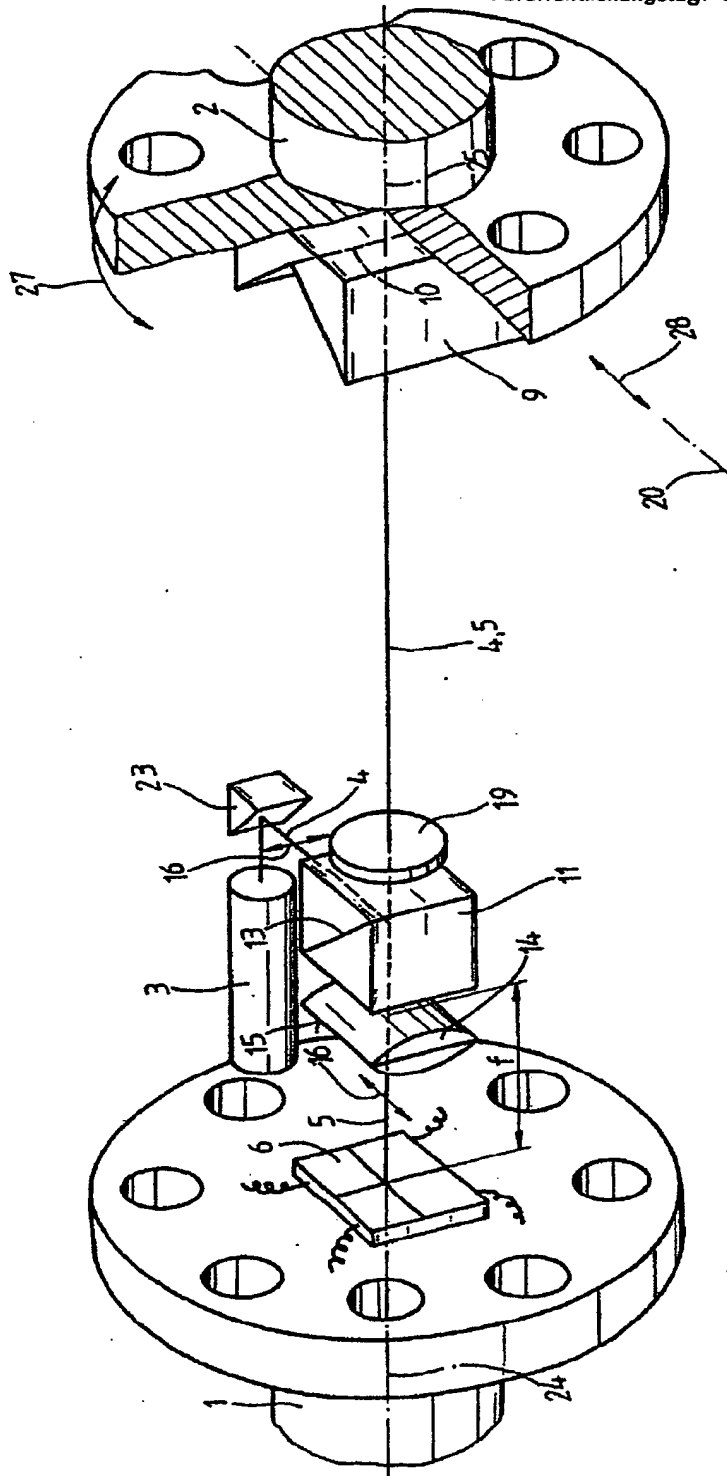
65



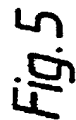
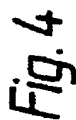
708 144/388



Fig. 3



708 144/369



BN8DOCID: <DE\_\_\_\_\_3619831C1\_1\_>